

ANALISA KONTRUKSI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV TANPA KAWAT TANAH TERHADAP SAMBARAN INDUKSI PETIR Studi Kasus Di PT PLN (Persero) Area Semarang Rayon Boja Feeder BSB 4 GI BSB

¹⁾Muhammad Nur Arif, ²⁾Bambang Supradono, ³⁾Agung Budi Santoso

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah no.10-12 Semarang – Indonesia

ABSTRACT

A bolt of lightning strikes the induction is on the ground near a transmission line resulting in a phenomenon that caused of transient electromagnetic fields from the lightning channel. This phenomenon is happening at lightning conductor wire. This event raised over voltage and resulting wave propagating on both sides of the wire in the strike lasts. In calculating the induction stroke used Shielded Factor (FP) is defined as the quotient of the induced voltage and induced voltage ground wire without a ground wire. If there is no ground wire, the neutral wire effect on induced voltage on the wire the same phase as the influence of the ground wire to the voltage induced in the phase wire. Since the neutral high wire above the ground is lower than the high-wire phase, greater than shielded factor of the channel with the ground wire. There are times when the neutral wire was installed over the wire so that the phase factor will be smaller shielded. Construction is crucial lightning disturbances. From this analysis concluded that the results obtained from data disruption due to lightning feeder PMT 4 GI BSB obtained 3 times a distraction while the calculation results showed interference by 4 times with 24.4 km length of the network there is no significant difference. Any differences due to changes in network construction are not communicated as elevation neutral wire that will affect shielded factor.

Keywords: Analysis, Construction JTM, Induction Lightning

PENDAHULUAN

Setiap musim hujan sering terjadi gangguan pada jaringan PLN yang mengakibatkan listrik padam dikarenakan faktor teknis atau non teknis.

1. Faktor teknis seperti halnya pada faktor usia material yang sudah waktunya untuk peremajaan dan material rusak atau sudah

menunjukkan indikasi terjadinya gangguan. Faktor teknis di atas dapat di cegah dengan mengganti komponen tersebut.

2. Faktor non teknis diakibatkan dari faktor alam seperti halnya pohon tumbang menimpa jaringan PLN, angin serta petir yang menyambar ke jaringan PLN.

Dalam keadaan operasi, suatu sistem tenaga sering mengalami gangguan yang dapat mengakibatkan terputusnya pelayanan daya ke pelanggan. Gangguan tersebut lebih sering terjadi pada jaringan distribusi. Terjadinya gangguan disebabkan oleh peningkatan tegangan pada hantaran distribusi, yang dikenal dengan tegangan lebih, yang besar tegangan itu melampaui tingkat ketahanan isolasi dari hantaran distribusi.

Dengan demikian terjadi hubungan singkat antar kawat-kawat fasa ke tanah yang dapat menyebabkan PMT (Pemutus Tegangan) membuka.

Tegangan lebih ini antara lain ditimbulkan oleh:

- Sambaran petir pada hantaran distribusi, baik merupakan sambaran langsung atau tidak langsung.
- Surja hubung

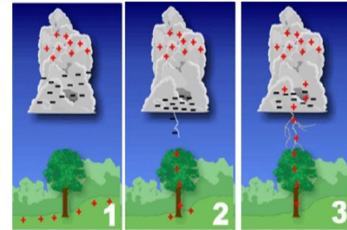
Oleh sebab itu, kebutuhan tingkat ketahanan isolasi dari suatu sistem tenaga ditentukan oleh tegangan lebih akibat sambaran petir (tegangan lebih atmosfer).

Tegangan lebih ini muncul pada jaringan tegangan menengah karena sambaran petir baik langsung (jarang terjadi) maupun sambaran tidak langsung (sering terjadi), misalnya petir menyambar pohon atau benda lain yang lebih tinggi dari jaringan lain

menginduksi ke jaringan yang berada di sekitar lokasi sambaran petir.

Pengaman saluran distribusi menurut metode yang lama adalah merupakan pengembangan dari metode yang digunakan pada saluran transmisi.

Proses terjadinya Petir



Gambar 1. Proses Terjadinya Petir

Petir juga dapat terjadi dari awan ke awan (*intercloud*), dimana salah satu awan bermuatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif.

Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi atau dengan awan lainnya. Proses terjadinya muatan pada awan karena dia bergerak terus menerus secara teratur, dan selama pergerakannya dia akan berinteraksi dengan awan lainnya sehingga muatan negatif akan berkumpul pada salah satu sisi (atas atau bawah), sedangkan muatan positif berkumpul pada sisi sebaliknya. Jika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pembuangan muatan negatif (elektron) dari awan ke bumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan. Pada proses pembuangan muatan ini, media yang

dilalui elektron adalah udara. Pada saat elektron mampu menembus ambang batas isolasi udara inilah terjadi ledakan suara.

Petir lebih sering terjadi pada musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir. Karena ada awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif, maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan.

Sistem Distribusi SUTM 20 kV

Saluran udara digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator di antara tiang-tiang sepanjang beban yang dilalui suplai tenaga listrik, mulai gardu induk sampai ke pusat beban ujung akhir.

Kebutuhan energi listrik sangat diperlukan, karena itu diperlukan suatu sistim yang handal untuk dapat meminimalkan segala bentuk gangguan yang terjadi pada jaringan sistim tenaga listrik. Untuk meningkatkan keandalannya perlu dipasang sistim proteksi untuk setiap gangguan yang berbeda, salah satunya adalah dipasangnya relay proteksi untuk melindungi peralatan jaringan sistim tenaga listrik pada gardu induk. Dimana gangguan-gangguan tersebut diantaranya disebabkan karena adanya arus hubung singkat dan sambaran petir sehingga arus Analisa Konstruksi Jaringan.....

yang mengalir keperalatan tidak sesuai dengan nilai nominalnya atau lebih besar dari kapasitasnya. Dengan adanya peranan relay pengaman ini pada jaringan sistim tenaga listrik tersebut sehingga akan meminimalkan kerusakan peralatan jaringan terutama pada jaringannya.

Pemutus Tenaga (PMT) adalah alat pemutus otomatis yang mampu memutus / menutup rangkaian pada semua kondisi, yaitu pada kondisi normal ataupun gangguan. Secara singkat tugas pokok pemutus tenaga adalah :

- a. Keadaan normal, membuka / menutup rangkaian listrik.
- b. Keadaan tidak normal, dengan bantuan relay, PMT dapat membuka sehingga gangguan dapat dihilangkan.

Gangguan Kilat dan Angka Keluar

Satuan gangguan adalah “ angka keluar “ akibat sambaran kilat diberikan dalam jumlah gangguan per 100 km per tahun. Gangguan ini biasanya di bagi dalam dua kelompok :

1. Gangguan akibat sambaran langsung, yang terdiri dari :
 - a. Gangguan kilat pada kawat tanah,
 - b. Gangguan kilat pada kawat fasa atau gangguan perisaian.
2. Gangguan kilat akibat sambaran tidak langsung atau sambaran induksi.

Untuk saluran distribusi tegangan menengah, justru sambaran induksi ini yang mengakibatkan lebih banyak gangguan.

Jumlah sambaran kilat ke bumi adalah sebanding dengan jumlah hari guruh per tahun atau “Iso Keraunik Level“ (IKL) ditempat itu.

Besar tegangan yang timbul pada isolator tergantung pada kedua parameter kilat, yaitu puncak dan kecuraman muka gelombang.

Tidak semua sambaran kilat dapat mengakibatkan lompatan api (flashover) pada isolator saluran. Demikian juga tidak semua lompatan api yang timbul dapat beralih menjadi busur api (power arc) yang mengakibatkan gangguan saluran (line outage).

Demikian juga apakah akan terjadi peralihan dari lompatan api menjadi busur api yang mengakibatkan gangguan saluran tergantung dari sejumlah factor seperti dijelaskan berikut ini.

Waktu beraksi rele biasanya tidak kurang dari setengah putaran (cycle) atau 0,01 detik (untuk frekuensi sistem 50Hz), sedang eksistensi gelombang kilat tidak lebih dari 100 mikrodetik. Jadi lompatan api impuls itu tidak mungkin mengakibatkan pemutusan saluran. Pemutusan saluran itu hanya akan terjadi bila:

Probabilitas beralihnya lompatan api impuls menjadi busur api tergantung dari sejumlah factor termasuk daya sumber. Tetapi yang paling berpengaruh adalah intensitas medan yang ditimbulkan oleh tegangan kerja dalam kanal pelepasan impuls (*impulse discharge*). Makin tinggi intensitas medan makin baik konduktivitas kanal pelepas impuls dan makin tinggi probabilitas beralihnya lompatan api menjadi busur api, dan yang terakhir ini akan selalu mengakibatkan gangguan saluran (*line outage*).

Sambaran Induksi

Bila terjadi sambaran kilat ke tanah di dekat saluran maka terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dari kanal kilat. Fenomena kilat ini terjadi pada kawat penghantar. Akibat dari kejadian ini timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat di tempat sambaran berlangsung.

Dalam menghitung pengaruh kawat tanah terhadap tegangan induksi diperkenalkan Faktor Perisaian (FP) yang didefinisikan sebagai hasil bagi tegangan induksi dengan kawat tanah dan tegangan induksi tanpa kawat tanah.

Kawat tanah ideal adalah kawat tanah yang mempunyai titik pengetanahan pada setiap titik sepanjang kawat tanah, sehingga potensialnya

sepanjang kawat tanah adalah nol. Pada kenyataannya tidak ada kawat ideal, jadi kawat tanah itu mempunyai beda tegangan tertentu terhadap tanah.

Pada saluran tiga fasa dengan empat kawat yaitu tiga kawat fasa dan satu kawat netral, dan tidak ada kawat tanah, maka pengaruh kawat netral itu terhadap tegangan induksi pada kawat fasa sama seperti pengaruh kawat tanah pada tegangan induksi pada kawat fasa. Dalam hal ini tinggi kawat netral di atas tanah lebih rendah dari tinggi kawat fasa, jadi besar factor perisaian lebih besar dibanding dengan factor perisaian dari saluran dengan kawat tanah.

Ada kalanya kawat netral itu di pasang di atas kawat fasa, sama seperti kedudukan kawat tanah. Dalam hal ini factor perisaian akan lebih kecil, jadi lebih baik. Tetapi dengan memasang kawat netral di atas kawat fasa akan mempertinggi tiang dan dengan demikian akan memperbesar jumlah sambaran langsung.

Sebagaimana di jelaskan tidak semua lompatan api dapat beralih menjadi busur api atau gangguan dan besarnya gangguan itu tergantung dari besar probabilitas η .

Dengan demikian jumlah gangguan karena sambaran induksi adalah :

(a) *Tanpa Kawat Tanah*

$$N_i = 30,6 \cdot \text{IKL} \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot FP} h^{0.09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta \quad (1)$$

Gangguan per 100 km per tahun

$V_{50\%}$ = tahanan impuls isolator

IKL = jumlah hari guruh per tahun

FP = factor perisaian

h = tinggi kawat fasa di atas tanah

η = probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api / gangguan.

METODOLOGI PENELITIAN

Obyek Penelitian

PT PLN Rayon Boja untuk Wilayah Boja mendapat suplai tenaga listrik dari GI BSB yang memiliki 5 feeder yang masing-masing fider mempunyai medan yang berbeda-beda terutama terhadap gangguan petir.

Bahan Penelitian

Data Jaringan Tegangan Menengah 20 kV di PT PLN (Persero) Area Semarang Rayon Boja Feeder BSB 4 GI BSB :

a) Kontruksi CC1-A, CC2-A, CC7, CC8, CC9

R = 20 ohm (tahanan kontak tiang)

$V_{50\%}$ = 160 kV

Tebal pal beton = 4 cm

IKL = 154 (Semarang)

h = 10,3 meter

η = 0,5

b) Kontruksi CC7

$R = 20 \text{ ohm}$ (tahanan kontak tiang)

$V_{50\%} = 160 \text{ Kv}$

Tebal pal beton = 4 cm

IKL = 154 (Semarang)

$h = 9,85 \text{ meter}$

$\eta = 0,5$

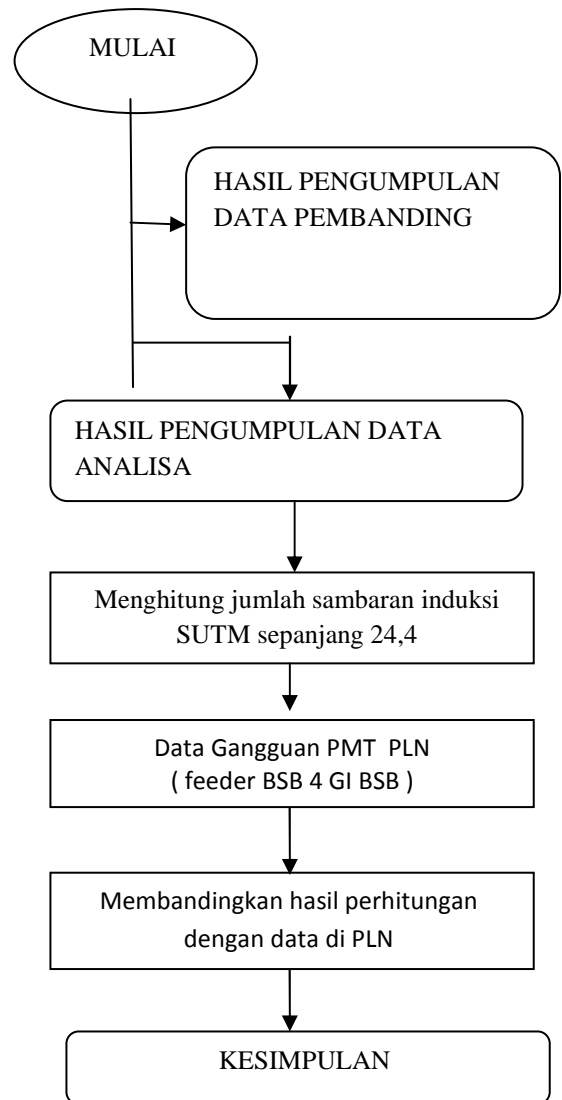
Data diatas merupakan konstruksi tiang berdasarkan tipe tiang. Ketinggian semua menggunakan tiang beton dengan ketinggian 12 m dan panjang gawang 50 m. Menggunakan penghantar AAAC ukuran 240 mm. Sesuai standar PLN.

Data Pembanding

Tabel 1 Data Gangguan PMT PLN Rayon Boja Tahun 2011.

NO	TAHUN	GI BSB feeder	GANG GUAN	JML GANG GUAN
1	2011	BSB 1	Karena Petir	1 Kali
2	2011	BSB 2	Karena Petir	Nihil
3	2011	BSB 3	Karena Petir	3 Kali
4	2011	BSB 4	Karena Petir	3 Kali
5	2011	BSB 5	Karena Petir	1 Kali

Jalan Penelitian



PEMBAHASAN

a. Data Gangguan PMT Feeder BSB 4 GI BSB PLN Rayon Boja

NO	BULAN	GI BSB (fider)	GANG GUAN	JML
1	Januari	BSB 4	Karena Petir	1
2	Febuari	BSB 4	Karena Petir	Nihil
3	Maret	BSB 4	Karena Petir	Nihil
4	April	BSB 4	Karena Petir	1
5	Mei	BSB 4	Karena Petir	Nihil
6	Juni	BSB 4	Karena	Nihil

			Petir	
7	Juli	BSB 4	Karena Petir	Nihil
8	Agustus	BSB 4	Karena Petir	Nihil
9	September	BSB 4	Karena Petir	Nihil
10	Oktober	BSB 4	Karena Petir	Nihil
11	Nofember	BSB 4	Karena Petir	1
12	Desember	BSB 4	Karena Petir	Nihil

b. Tiang Penyangga

- Tiang beton
- Tinggi 12 M

c. IKL (Iso Keraunik Level)

- Daerah Semarang 154

d. Data konstruksi tiang feeder BSB-4 GI BSB

Tipe Kontruksi Tiang	Jumlah	Panjang Saluran (km)
CC1-A dan CC2-A	410	20,5
CC8	48	2,4
CC9	28	1,4
CC-7	2	0,1

Perhitungan Jumlah Gangguan Kilat Akibat Sambaran Induksi

Pandanglah sebuah kawat setinggi h diatas tanah. Misalkanlah suatu sambaran kilat vertical menyambar tanah pada jarak y dari kawat.

Besar tegangan industri pada kawat diberikan oleh persamaan :

$$V_i = \frac{30 I_0 h}{y} \quad (2)$$

dimana :

V_i' : tegangan industri pada kawat, kV

I_0 : besar arus kilat, kA

h : tinggi rata- rata kawat diatas tanah , V

y : jarak horisontal antara sambaran kilat dengan kawat , V

Bila saluran itu dilengkapi dengan kawat tanah, maka besar tegangan induksi pada kawat fasa telah diberikan oleh Persamaan :

$$V_i' = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1} \right) V_i \quad (3)$$

dimana :

V_i' = tegangan induksi pada kawat fasa dengan kawat tanah, kV

V_i = tegangan induksi pada kawat fasa tanpa kawat tanah, kV

Z_{22} = impedansi surja sendiri kawat tanah 2, ohm

Z_{12} = impedansi surja sendiri antara kawat tanah 2 dan kawat fasa 1, ohm

h_1 = tinggi kawat fasa pinggir , meter

h_2 = tinggi kawat netral , meter

R = Tahanan kontak tiang, ohm

Jumlah sambaran pada Δy untuk panjang 100 km saluran,

$$\Delta N = 0,015 IKL \Delta y \quad (4)$$

Bila saluran itu tidak ada kawat tanah , maka besar tegangan induksi pada kawat fasa telah diberikan oleh persamaan :

$$N_{FL} = 30,6 \cdot I_{KL} \cdot FP \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot FP} h^{0,09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta$$

Dimana :

FP = Faktor Perisaian

$$= \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1} \right)$$

Dengan demikian jumlah gangguan karena sambaran induksi adalah :

(a) Tanpa Kawat Tanah

$$N_i = 30,6 \cdot I_{KL} \cdot FP \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot FP} h^{0,09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta$$

Gangguan per 100 km per tahun

$V_{50\%}$ = tahanan Impuls isolator

I_{KL} = jumlah hari guruh per tahun

h = tinggi kawat fasa tengah

η = probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api / gangguan

Studi Kasus Feeder BSB 4 GI BSB

Perhitungan Kontruksi CC1-A, CC2-A, CC8 dan CC9

$$Z_{22} = 500 \text{ ohm}$$

$$Z_{12} = 150 \text{ ohm}$$

$$h_1 = 9,85 \text{ meter}$$

$$h_2 = 8,90 \text{ meter}$$

$$R = 20 \text{ ohm}$$

$$h = 10,3 \text{ meter}$$

$$\eta = 0,5$$

$$V_{50\%} = 160 \text{ kV}$$

$$\text{Tebal pal beton} = 4 \text{ cm}$$

Ketahanan impuls isolator dan pal beton :

$$\begin{aligned} V_{50\%} \text{ total} &= 160 + 4 \times 20 \\ &= 240 \text{ kV} \end{aligned}$$

Jumlah gangguan sambaran induksi

tanpa kawat tanah :

a. Faktor perisaian (FP) :

$$\begin{aligned} FP &= \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1} \right) \\ &= \left(1 - \frac{150}{2 \times 40 + 500} \frac{8,90}{9,85} \right) \\ FP &= 0,75 \end{aligned}$$

b. Jumlah gangguan sambaran induksi

$$\begin{aligned} N_i &= 30,6 \cdot I_{KL} \cdot FP \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot FP} h^{0,09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta \\ &= 30,6 \cdot 154 \cdot 0,75 \cdot 10,3 \frac{e^{-\left(\frac{240}{510 \cdot 0,75} 10,3^{0,09}\right)}}{240} \times \eta \end{aligned}$$

$$N_i = 36403,29 \times \frac{e^{-\left(0,849 \times 1,233\right)}}{240} \times 0,5$$

$$N_i = 36403,29 \times \frac{e^{-1,046}}{240} \times 0,5$$

$$N_i = 36403,29 \times \frac{0,351}{240} \times 0,5$$

$$N_i = 36403,29 \times 0,001 \times 0,5$$

$$N_i = 18 \text{ Gangguan per 100 km per tahun}$$

Perhitungan Kontruksi CC7

$$Z_{22} = 500 \text{ ohm}$$

$$Z_{12} = 150 \text{ ohm}$$

$$h_1 = 9,85 \text{ meter}$$

$$h_2 = 8,90 \text{ meter}$$

$$R = 20 \text{ ohm}$$

$$h = 9,85 \text{ meter}$$

$$\eta = 0,5$$

$$V_{50\%} = 160 \text{ Kv}$$

$$\text{Tebal pal beton} = 4 \text{ cm}$$

Ketahanan impuls isolator dan pal beton :

$$\begin{aligned} V_{50\% \text{ total}} &= 160 + 4 \times 20 \\ &= 240 \text{ kV} \end{aligned}$$

Jumlah gangguan karena sambaran

induksi tanpa kawat tanah:

a. Faktor perisaian (FP) :

$$\begin{aligned} FP &= \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1} \right) \\ &= \left(1 - \frac{150}{2 \times 40 + 500} \frac{8,90}{9,85} \right) \\ FP &= 0,75 \end{aligned}$$

b. Jumlah gangguan sambaran induksi

$$N_i = 30,6 \cdot I_{KL} \cdot FP \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot FP} \cdot h^{0,09}\right)}}{V_{50\%}} \times \eta$$

$$N_i = 30,6 \cdot 154 \cdot 0,75 \cdot 9,85 \frac{e^{-\left(\frac{240}{510 \cdot 0,75} \cdot 9,85^{0,09}\right)}}{240} \times 0,5$$

$$N_i = 34812,855 \times \frac{e^{-(0,849 \times 1,228)}}{240} \times 0,5$$

$$N_i = 34812,855 \times \frac{e^{-1,042}}{240} \times 0,5$$

$$N_i = 34812,855 \times \frac{0,359}{240} \times 0,5$$

$$N_i = 34812,855 \times 0,001 \times 0,5$$

$$N_i = 17 \text{ Gangguan per } 100 \text{ km per tahun}$$

Analisa Konstruksi Jaringan.....

Angka Keluar Feeder BSB 4 GI BSB

Konstruksi tiang dan angka keluar gangguan sambaran induksi

Jenis Kontruksi	Jumlah Gangguan 100 km Per Tahun
CC1-A dan CC2-A	18
CC8	18
CC9	18
CC-7	17

$$\begin{aligned} N_{Total} &= \left(\frac{1}{L} \right) (No. L_1) + (No. L_2) + \\ &\quad (No. L_3) + (No. L_4) \\ &= \left(\frac{1}{24,4} \right) (18 \times 20,5) + \\ &\quad (18 \times 2,4) + (18 \times 1,4) + \\ &\quad (17 \times 0,1) \\ &= \frac{(369 + 43,2 + 25,2 + 1,7)}{24,4} \\ &= \frac{439,1}{24,4} \\ &= 17,995 \text{ Gangguan per } 100 \text{ km} \\ &= \frac{24,4}{100} \times 23,995 \\ &= 4,39 = 4 \text{ Gangguan per tahun} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di dapat total angka keluar fider BSB 4 GI BSB sebesar 4 Gangguan tiap 24,4 km/ tahun.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan didapat jalur utama feeder BSB 4 memiliki panjang 24,4 km dengan gangguan per tahun sebesar 4 kali akibat sambaran petir.
2. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari data gangguan PMT karena petir feeder BSB 4 GI BSB diperoleh 3 kali gangguan sementara hasil perhitungan menunjukkan sebesar 4 kali gangguan perbedaan ini tidak begitu signifikan. Adanya perbedaan dikarenakan adanya perubahan konstruksi jaringan yang tidak dikomunikasikan seperti peninggian kawat netral yang akan mempengaruhi faktor perisaian.

DAFTAR PUSTAKA

- A.R. van C. Warrington, Protective Relays, 3rd Edition, Chapman and Hall, 1977
- A.S. Pabla, Sistem Distribusi Daya Listrik, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994
- Abdul Kadir, Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 2000
- Aly S. Dadras, Electrical Systems for Architects, McGraw-Hill, USA, 1995
- AR Bean, Lighting Fittings Performance and Design, Pergamou Press, Braunschweig, 1968
- Benyamin Stein cs, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 7th Edition Volume II, John Wiley & Sons, Canada, 1986
- Bernhard Boehle cs, Switchgear Manual 8th edition, 1988
- Brian Scaddam, The IEE Wiring Regulations Explained and Illustrated, 2nd Edition, Clags Ltd., England, 1994
- Buku Pedoman Standar Konstruksi Jaringan Distribusi Tahun 2008, PT PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TENGAH DAN D.I YOGYAKARTA
- L.V. Bewly, *Traveling Waves on Transmission Systems*, 2 nd, ed., John Wiley & Sons, New York. 1951.
- T.S. Hutaaruk, Lightning Performance of High Voltage Transmissions Lins, *Illinois Power Company, Company Report, Decatur, III., USA*, 1963.
- T.S. Hutaaruk, *Gelombang Berjalan Pada Sistem Transmisi dan Proteksi Peralatan Terhadap Surja*, Departemen Elektroteknik, ITB, 1975.